

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE A PARTIR DEL
COEFICIENTE DE DRENAJE**



Autor:

Ing. WILLIAM FERNANDO GONZÁLEZ MAYORGA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

2018

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE A PARTIR DEL COEFICIENTE DE DRENAJE

SENSITIVITY ANALYSIS IN THE FLEXIBLE PAVEMENT DESING FROM THE DRAINAGE COEFFICIENT

William Fernando González Mayorga
Ingeniero Civil, Aspirante a especialista en ingeniería de pavimentos.
Bogotá D.C., Colombia.
U6100284@unimilitar.edu.co
Universidad Militar Nueva Granada.

RESUMEN

Este documento tuvo por objetivo determinar la sensibilidad en el diseño de una estructura de pavimento flexible a partir de la variación del coeficiente de drenaje, para un proyecto vial en la Ciudad de Cartagena Colombia. Se evaluaron los cambios en los espesores de las capas granulares (base y subbase) y el impacto en costos que tienen estas variaciones en el diseño. Se realizó un análisis de la precipitación en la zona, para poder definir los rangos de variación del coeficiente de drenaje. A partir de la metodología de diseño AASTHO 93 y con información del tránsito, serviciabilidad, confiabilidad y módulos de las capas, se obtuvieron los números estructurales, que están en función del espesor de la capa, los coeficientes estructurales y el coeficiente de drenaje. Como resultado se obtuvieron variaciones considerables en la capa de Subbase de la estructura de pavimento.

Palabras clave: Sensibilidad, Coeficiente de drenaje, Pavimentos flexibles, tránsito, confiabilidad, números estructurales, base granular, subbase granular.

ABSTRACT

This document had for aim determine the sensibility in the design of a structure of flexible pavement from the variation of the drainage coefficient, for a road project in the City of Cartagena Colombia. The changes were evaluated in the thicknesses of the granular caps (base and subbase) and the impact in costs that have these variations in the design. An analysis of the rainfall was realized in the zone, to be able to define the ranges of variation of the drainage coefficient. From the methodology of design AASTHO 93 and with information of the traffic, serviaciabilidad, reliability and modules of the caps, obtained the structural numbers, which are depending on the thickness of the cap, the structural coefficients and the drainage coefficient. Since result considerable variations were obtained in the subbase cap of the structure of pavement.

Keywords: Sensibility, Coefficient of drainage, flexible Pavements, traffic, reliability, structural numbers, granular base, granular subbase.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos tienen como función principal resistir las cargas del tránsito según las solicitudes de cada proyecto, brindando un buen comportamiento ante la acción del medio ambiente y proporcionando la circulación de los vehículos con seguridad, rapidez y comodidad durante su vida útil proyectada.

Tomar la decisión entre un pavimento flexible y un pavimento rígido, está ligado a la necesidad operacional de la vía, a los intereses públicos y/o privados, a los factores económicos y agentes externos como la topografía, geología, geotecnia, hidrología, fuentes de materiales e impacto ambiental. En el caso de Colombia para carreteras nacionales y departamentales son más utilizados los pavimentos flexibles, ya que son más acordes a la topografía y geología del País, dado a que la inestabilidad y movimiento que se puede presentar en las carreteras afectarían más rápidamente al pavimento en concreto por su condición de rigidez; En los casos en que los agentes externos no afectan el pavimento rígido, como en gran parte de las vías distritales y municipales, se debe evaluar las condiciones de durabilidad, costos iniciales y operativos versus el pavimento flexible para la toma de decisiones.

Los métodos de diseño de pavimentos están ligados en su mayoría a las experiencias de los institutos o entidades que los han desarrollado, por tal motivo en muchos casos se obtienen diferentes resultados para los mismos datos del proyecto utilizando diferentes procedimientos. Los métodos de diseño para pavimento flexible se clasifican en empíricos y empíricos - mecanicistas. Los primeros están basados en ensayos y pruebas (experiencias), los más utilizados en Colombia son el INVIAS-98 y AASTHO-93. Los métodos empíricos-mecanicistas, emplean una combinación de las experiencias, incluyendo modelos matemáticos para identificar el comportamiento mecánico de los componentes de la estructura de pavimento en cuanto a esfuerzos, deformaciones y deflexiones.

Las variables de diseño de pavimentos se pueden tipificar en dos categorías: directas e indirectas. Directas son aquellas variables que inciden de manera “directa” en el espesor de las capas del pavimento (tránsito, subrasante, clima, propiedades mecánicas de materiales, factores de seguridad), e indirectas son aquellas que no inciden en el espesor, pero sí en la selección del tipo de estructura que se va a dimensionar (costos, materiales disponibles en la zona, topografía, estética, etc.) [1].

Los parámetros utilizados para el diseño de pavimento flexible por el método AASHTO son el tránsito, la serviciabilidad, la confiabilidad, la resistencia de la subrasante, las propiedades de los materiales de las capas, el coeficiente de drenaje, el número estructural y los efectos ambientales. Algunas de estas variables directas se pueden determinar de una manera precisa como por ejemplo el tránsito (haciendo el estudio pertinente) o las características de la subrasante y las capas (haciendo ensayos de laboratorio y en situ), sin embargo, para muchos proyectos no se cuenta con información de parámetros

relacionados con el clima y el drenaje, generando cierto grado de incertidumbre a la hora de elegir estos valores para el diseño.

Este documento pretende determinar la influencia de la variación del coeficiente de drenaje, en el diseño de una estructura de pavimento flexible, para evaluar los cambios en los espesores de las capas granulares (base y subbase) y el impacto en costos que tendrían estas variaciones. El trabajo se desarrolla con información de entrada de un proyecto en la ciudad de Cartagena, teniendo en cuenta los rangos de clasificación climática por humedad en que podría estar esta zona de Colombia.

A partir de esta información, se tiene como objetivo realizar los diseños del pavimento flexible mediante el método AASTHO 93, variando el coeficiente de drenaje según unos rangos determinados y así hacer una evaluación técnica y económica de la sensibilidad que podría tener el parámetro estudiado en los espesores de capas granulares obtenidos para cada diseño.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO AASTHO 93

Es un método de diseño empírico pasado en los resultados AASHTO Road test, en el cual su criterio de falla es el índice de servicio final. En una revisión realizada en 1986 se introdujeron los factores de confiabilidad, drenaje y aspectos climáticos. La falla del pavimento es función del número estructural, de la resistencia de la subrasante y de la pérdida del índice de servicio y confiabilidad elegido [2]. La ecuación básica de diseño para el dimensionamiento de las estructuras por el método AASTHO corresponde al siguiente algoritmo, también se puede calcular mediante un ábaco:

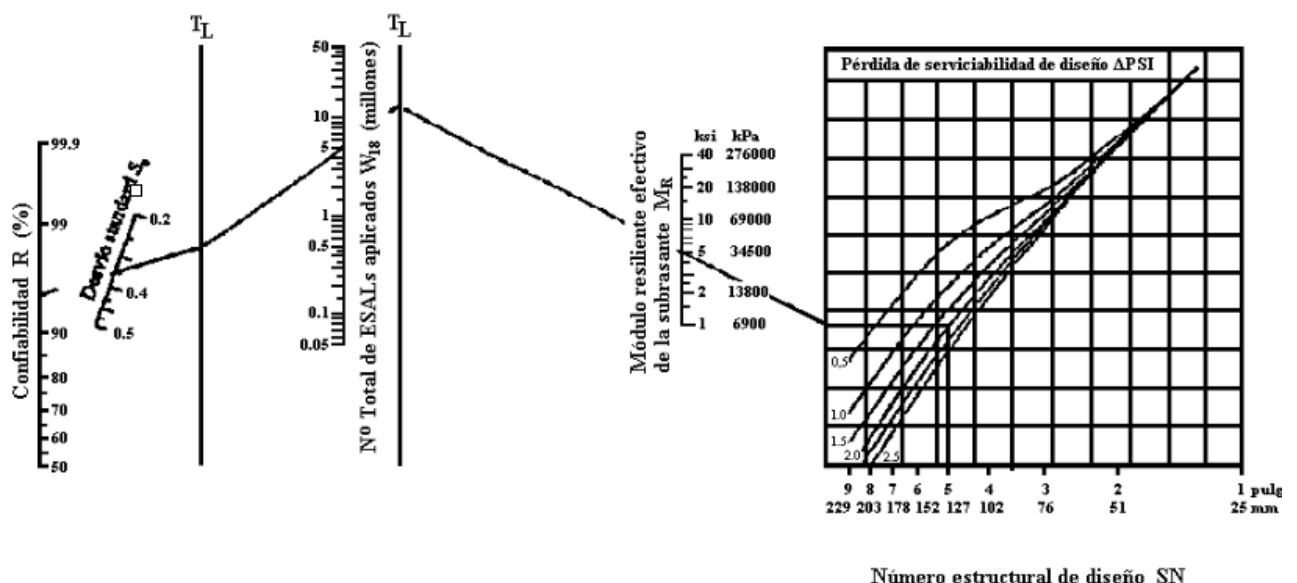


Ilustración 1. Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles

Fuente: AASTHO; 1993.

$$\text{Log } W_{18} = (z_r)(S_o) + (9.36)(\log(SN+1)) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta ISP}{4.2-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + (2.32)(\log M_r) - 8.07 \quad (1)$$

En donde:

- W_{18} : Número acumulado de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño. El subíndice 18 significa la masa del eje simple equivalente en kips (kilo-libras).
- Z_r, S_o : Parámetros de confiabilidad en el diseño.
- SN : Número estructural.
- $DPSI$: Pérdida de serviciabilidad
- M_r : Módulo resiliente de la subrasante, en psi.

1.2. VARIABLES DE DISEÑO

Las variables para el diseño de pavimentos flexibles por el método AASTHO son las siguientes:

- Tránsito ($N_{8,2}$ ton):
Corresponde al número de ejes equivalentes de 80 kN, durante el período de diseño de la vía.
- Serviciabilidad ($\Delta psi = P_0 - P_t$)
Es un índice que tiene en cuenta el estado inicial y final de serviciabilidad del pavimento a diseñar. Se evalúa asignando un valor entre 0 y 5, donde 5 es el máximo valor, asumiendo que el pavimento se encuentra en perfecto estado de serviciabilidad. Se parte por lo general de un valor inicial para pavimentos de P_0 entre 4.0 y 4.2 (estado bueno de la vía) y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento P_f entre 1.5 y 2.5. Es decir que la pérdida del índice de serviciabilidad ΔPSI durante la vida útil del pavimento oscila entre 1.5 y 2.7 [1].
- Confiabilidad (R, Z_r, S_o)
Es la probabilidad de que el pavimento llegue a su falla funcional después de que se haya acumulado el número de ejes de 80 kN previstos para el diseño [3]. Para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento, R es traducido a valores desviación normal estándar (Z_r) y desviación estándar S_o [1]. Esta variable se elige dependiendo del nivel de tránsito del proyecto a diseñar:

Tabla 1. Niveles de confiabilidad R recomendados.

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R [%]	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.0	75.0 – 95.0

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R [%]	
	Urbana	Interurbana
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Fuente: AASTHO; 1993.

Tabla 2. Valores del Parámetro Zr para diferentes valores de confiabilidad

Table 4.1. Standard Normal Deviate (Z_R) Values Corresponding to Selected Levels of Reliability

Reliability, R (percent)	Standard Normal Deviate, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

S_o = Standard Deviation

Rigid Pavements: S_o = 0.30 - 0.40

Flexible Pavements: S_o = 0.40 - 0.50

All variability is lumped into a single set of parameters!

Fuente: AASTHO; 1993.

- Resistencia de la subrasante (M_r)
Corresponde al valor del módulo resiliente de la subrasante, el cual se puede calcular a partir del valor del CBR (California Bearing Ratio). Muchas de las correlaciones son más de tipo regional, lo que debe limitar el uso indiferente para cualquier tipo de suelo. Solamente, con una gran experiencia y criterio, el ingeniero podrá seleccionar la correlación más adecuada para un proyecto específico. A continuación, se presentan algunas correlaciones empíricas entre el CBR y el valor del módulo resiliente [4]:

Tabla 3. Correlaciones típicas para el cálculo del módulo resiliente a partir del CBR

Shell (Heukelom y Foster 1960) M_r (psi) = 1500 CBR
U.S. Cuerpos de Ingenieros (USACE) (Green y Hall 1975) M_r (psi) = 5409 CBR ^{0.711}
Concilio Sur Africano de Investigaciones Científicas e Industriales (CSIR) M_r (psi) = 3000 CBR ^{0.65}
Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras (TRRL) (Lister 1987) M_r (psi) = 2555 CBR ^{0.64}

Fuente: Revista Universidad EAFIT No. 125; 2012.

- **Propiedades de los Materiales de las capas (E, ai)**
Los coeficientes estructurales miden la capacidad relativa de una capa de determinado espesor para funcionar como componente estructural del pavimento. Estos se calculan a partir del CBR y módulo resiliente de cada material, la calidad de construcción (compactación) y el estado de esfuerzos. Existen gráficos y ecuaciones para el cálculo de los coeficientes, AASTHO presenta valores de coeficientes estructurales:

Tabla 4. Valores de coeficientes estructurales típicos.

Coeficientes estructurales (ai)	
Mezclas asfálticas densas en caliente	0.44
Bases granulares	0.14
Subbases granulares	0.11

Fuente: AASTHO; 1993.

- **Drenaje (mi)**
Los coeficientes de drenaje aplican para cada una de las capas del pavimento a diseñar y es el parámetro que se va analizar en el presente trabajo. Para las capas de base y subbase se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura del pavimento y los 365 días del año [1].

Tabla 5. Clasificación de la calidad del drenaje.

Tabla 13.5. Calidad del drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Fuente: AASTHO; 1993.

Tabla 6. Valores de coeficiente de drenaje recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y sub bases

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: AASTHO; 1993.

INVIAS en su Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito presenta unos valores recomendados del coeficiente de:

Tabla 7. valores de coeficiente de drenaje de las capas granulares recomendados por INVIAS

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

Fuente: INVIAS.

- Número Estructural (SN)

El número estructural representa la resistencia del conjunto de capas que conforma la estructura del pavimento, y se determina a partir de los parámetros descritos anteriormente y están en función del espesor de las capas, los coeficientes de aporte de cada una de ellas y el coeficiente de drenaje, mediante la siguiente expresión:

$$SN = \sum a_i * D_i * m_i \quad (2)$$

Donde

D_i = Espesores de las capas de la estructura en Pulgadas.

a_i = Coeficientes estructural de las capas dependiendo de su módulo.

m_i = Coeficientes de drenaje para cada una de las capas.

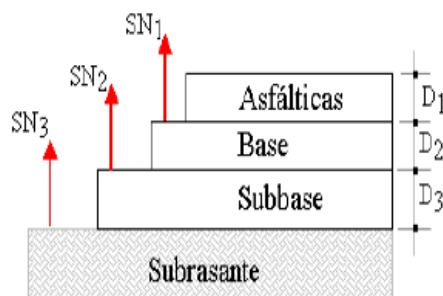


Ilustración 2. Esquema básico del número estructural.

Fuente: Presentación Fernando Sánchez Sabogal, Escuela colombiana de Ingeniería Julio Garavito 1993.

Tabla 8. Espesores mínimos recomendados por AASTHO

N (10 ⁶)	Espesores mínimos (pulgadas)	
	Capas asfálticas	Base granular
< 0.05	TSD	4.0
0.05-0.15	2.0	4.0
0.15-0.50	2.5	4.0
0.50-2.00	3.0	6.0
2.00-7.00	3.5	6.0
>7.00	4.0	6.0

Fuente: AASTHO; 1993.

2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

2.1. INFORMACIÓN DE ENTRADA

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizará con fines académicos, información de un proyecto del cual se tienen resultados del estudio de tránsito, información de las características de la subrasante, las capas granulares y el concreto asfáltico:

- Tránsito: 1'200.000 ejes equivalentes de 80 kN, durante el período de diseño de 20 años.
- Subrasante:
La subrasante en el proyecto analizado es una arcilla de alta plasticidad de consistencia blanda con un CBR promedio de 1.9 %. A esta subrasante se le realizó un tratamiento basado en una precarga (con material de terraplén seleccionado) y drenes verticales, con el fin de disminuir su grado de expansión y acelerar la consolidación. Se cuenta con información del CBR de esta subrasante tratada para un tramo de 2 km de vía:

Tabla 9. Resultados de CBR para una subrasante en 2 Km de vía.

Abscisa(m)	CBR (%)
0	3,9
250	3,8
500	4,3
750	4,7
1000	4,9
1250	4,6
1500	4,3
1750	4,1
2000	4,8

Fuente: Elaboración propia.

- Serviciabilidad ($\Delta\psi = P_0 - P_t$)
Se tomará el valor de serviciabilidad recomendado por el manual de INVIAS, para el tránsito del proyecto en estudio:
 $\Delta\psi = 4,2 - 2,2 = 2,0$.
- Confiabilidad (R, Zr)
Se considera valor de 95%, teniendo en cuenta que en la gestión del proyecto se planea minimizar los costos de mantenimiento de la vía a futuro. A este parámetro le corresponde un valor de desviación normal estándar de -1,645 y desviación estándar de 0,45.
- Materiales granulares y estabilizados:
Se emplean los coeficientes de aporte recomendados por INVIAS, y se calculan los módulos con base en esta información.

- Características básicas de la vía:

Tabla 10. características de la cazada de la vía

Ancho de calzada (m)-2 Carriles	7,3
Sobreeancho para granulares (m) (1 metro por lado)	2,0
Longitud del tramo de vía en estudio (m)	2.000

Fuente: Elaboración propia.

2.2. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE POR MÉTODO ESTADÍSTICO

Con el fin de obtener el CBR de diseño y a partir de la información de entrada de la subrasante, se realiza el análisis estadístico de la información. La desviación estándar de los datos es de 0,08, esto quiere decir que se tiene una baja dispersión de los datos, teniendo en cuenta lo anterior, se elige el promedio de la información como el CBR de diseño: 4.4%

Para determinar el módulo de la subrasante a partir del CBR de diseño, se utiliza la correlación del laboratorio de transporte y carreteras (TRRL) (Lister 1987):

$$Mr (psi) = 2555(CBR)^{0,64} \quad (3)$$

Obteniendo un valor de módulo Mr: 6594.8 PSI

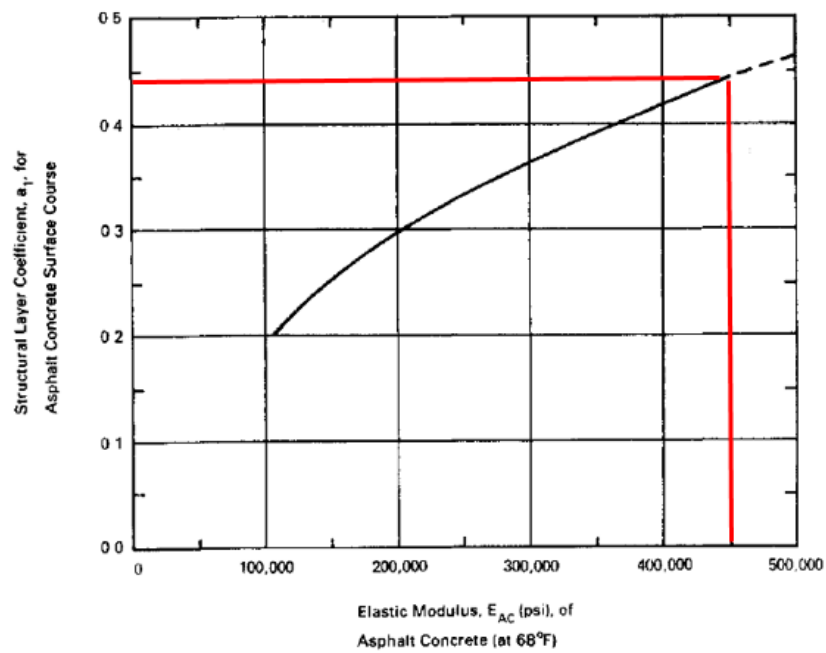
2.3. DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

En el presente documento se eligen los coeficientes de aporte (ai) recomendados por AASTHO 93, para las capas del pavimento asfáltico (tabla 4).

- Coeficiente Estructural de aporte para carpeta asfáltica: $a_1=0,44$.
- Coeficiente Estructural de aporte para base granular: $a_2=0,14$.
- Coeficiente Estructural de aporte para Sub-base granular: $a_3=0,11$.

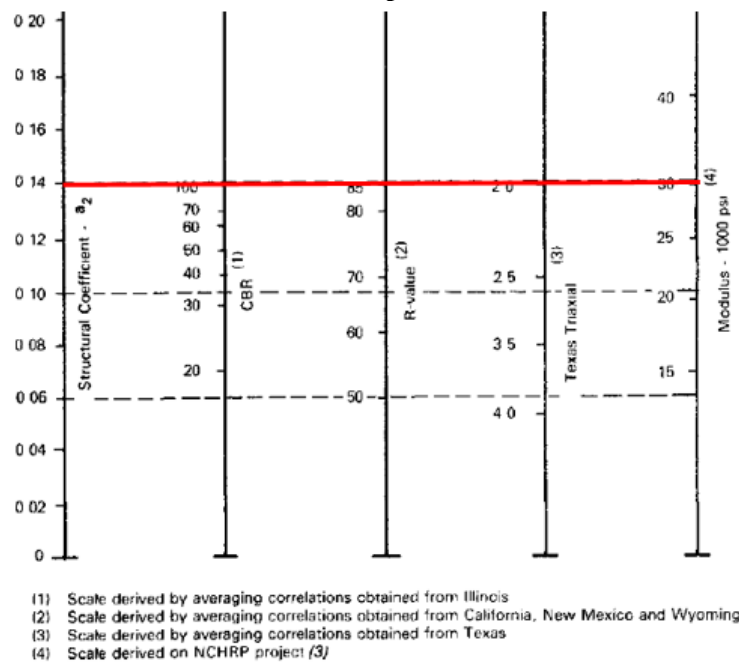
A partir de estos coeficientes, AASTHO 93 presenta unas gráficas para hallar los módulos de cada una de las capas:

Ilustración 3 Módulo de la carpeta asfáltica a partir del coeficiente estructural



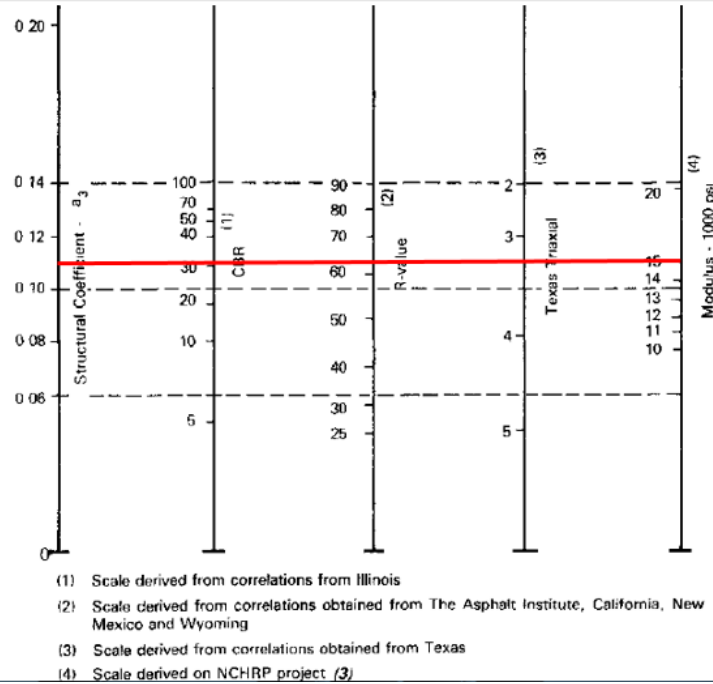
Fuente: AASTHO; 1993.

Ilustración 4 Módulo de la base a partir del coeficiente estructural



Fuente: AASTHO; 1993.

Ilustración 5 Módulo de la Sub base a partir del coeficiente estructural



Fuente: AASTHO; 1993.

Tabla 11 Módulo de las Capas de pavimento

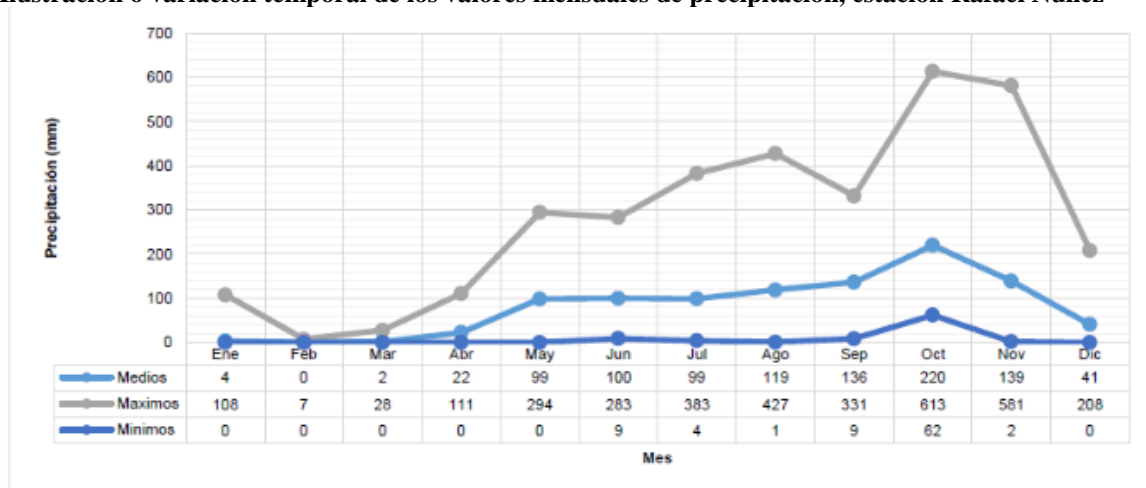
Capa	Coeficiente estructural (ai)	Módulo de la capa (PSI)
Capa asfáltica	0,44	450.000
Base Granular	0,14	30.000
Sub-Base Granular	0,11	15.000

Fuente: Elaboración propia

2.4. DEFINICIÓN DE RANGOS DE VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE DRENAJE PARA LAS CAPAS GRANULARES

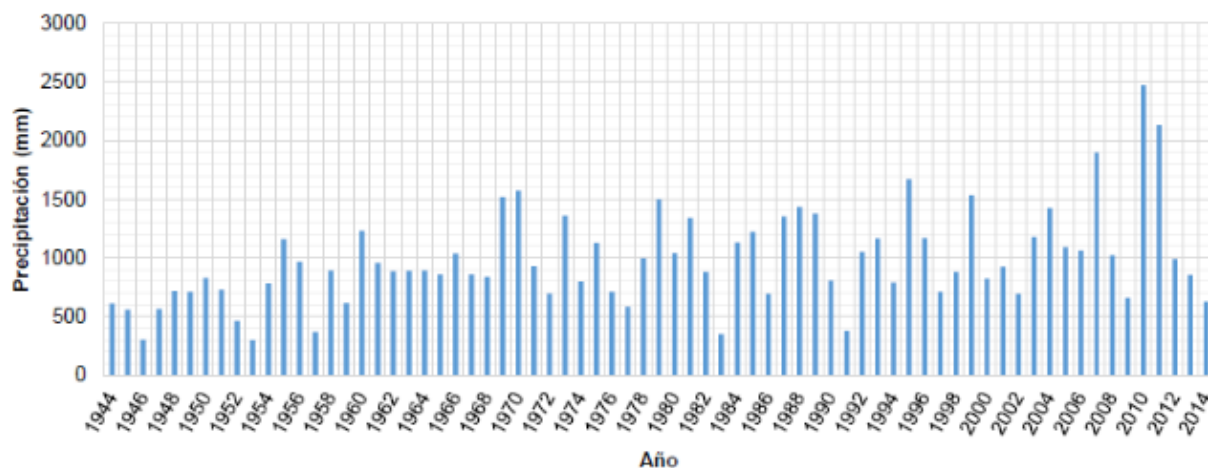
Los eventos pluviométricos se pueden clasificar según su intensidad (mm/hr) y la regularidad en que se presentan. En la ciudad de Cartagena la época humedad va desde el mes de abril al de noviembre, las cuales oscilan entre 29 y 244 mm/mes, constituyéndose este último como el de más altos índices de pluviosidad en el mes de octubre. El período seco transcurre entre los meses de diciembre hasta marzo, con promedios entre 1.0 y 37 mm/mes. Así mismo, el número de días con precipitación oscila a lo largo del año entre 0.0 y 17.0 días [5].

Ilustración 6 variación temporal de los valores mensuales de precipitación, estación Rafael Núñez



Fuente: Observatorio ambiental de Cartagena de Indias.

Ilustración 7- Valores totales anuales de precipitación desde el año 1944 hasta el año 2014, estación Rafael Núñez.



Fuente: Observatorio ambiental de Cartagena de Indias.

Aunque la época de lluvias inicia en abril, se puede observar que en los meses de septiembre a noviembre se presenta un aumento significativo en la regularidad e intensidad de las lluvias. Teniendo en cuenta lo anterior la estructura de pavimento puede estar en condiciones cercanas a la saturación durante estos 3 meses, estimando que el porcentaje en que la estructura de pavimento está expuesta a altos grados de humedad es del 25 % (3 meses /12 meses = 0.25).

Se considera para el análisis una clasificación de calidad de drenaje de la vía regular o normal (El tiempo que tarda el agua en ser evacuada es 1 semana) (Ver tabla 5).

A partir de estos aspectos, el coeficiente de drenaje estaría en un rango entre 1 a 0.8, para el caso en estudio (ver tabla 6). Por lo tanto, se realizará el análisis de sensibilidad para los siguientes valores de coeficiente de drenaje:

- Sub húmedo: $m_i = 1.00$
- Húmedo: $m_i = 0.95$

- Muy húmedo: $m_i = 0,85$
- $m_i = 0,80$ (Mínimo en las recomendaciones AASTHO para el caso en estudio).

2.5. CÁLCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO AASTHO 93

A Partir de la herramienta computacional del método AASTHO 93 se calcula el número estructural SN, según la siguiente información de entrada:

Tabla 12 Información de entrada para el cálculo del número estructural

Confiabilidad*	95%
Desviación normal estándar (Zr)	-1,645
Desviación estándar (So)	0,45
Serviciabilidad Inicial	4,2
Serviciabilidad Final	2,0
Tránsito (N 8,2)	1.200.000
Módulo de la subrasante (PSI)	6.595
Módulo de la subbase (PSI)	15.000
Módulo de la base (PSI)	30.000

* Porcentaje solicitado por la Gerencia del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8 Cálculo del Número estructural SN1

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input fields and a calculation button. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '95 % Zr=-1.645' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.0'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 30000 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1200000' entered. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 2.22'. There are 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9. Cálculo del Número estructural SN2

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 95 % $Z_r = -1.645$ So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.0

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 15000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
☒ Calcular SN **W18 =** 1200000
☐ Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.87

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10 Cálculo del Número estructural SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 95 % $Z_r = -1.645$ So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.0

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 6595 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
☒ Calcular SN **W18 =** 1200000
☐ Calcular W18

Número Estructural
SN = 3.85

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Números estructurales para el diseño por el método AASTHO

	SN
SN1	2,22
SN2	2,87
SN3	3,85

Fuente: Elaboración propia

2.6. CÁLCULO DE ESPESORES (Di) VARIANDO EL COEFICIENTE DE DRENAJE (mi)

Basados en la ecuación 2 se calcula el espesor de las capas, en función del número y el coeficiente estructural, para cada uno de los coeficientes de drenaje:

$$D_{1*} \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (4)$$

$$D_{2*} \geq \frac{SN_2 - SN_{1*}}{a_2 * m_2} \quad (5)$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_{1*} - SN_{2*})}{a_2 * m_3} \quad (6)$$

Donde

Di= Espesores de las capas de la estructura en Pulgadas.

ai= Coeficientes estructural de las capas dependiendo de su módulo.

mi= Coeficientes de drenaje para cada una de las capas.

*Indica el valor realmente usado, el cual debe ser igual o mayor al recomendado por AASTHO (tabla 8).

Con el fin de analizar de la mejor manera los resultados, solo se aproximarán los espesores que no cumplan con la tabla 8 para el nivel de transito del proyecto.

Tabla 14. Resultados de espesores de capas variando el coeficiente de drenaje

Para mi= 1	SN	ai	D (PULG)	D (PULG)*	SN*	D (CM)
SN1	2,22	0,44	5,0	5,0	2,22	12,8
SN2	2,87	0,14	4,6	6,0	0,84	15,2
SN3	3,85	0,11	7,2	7,2		18,2

Para mi= 0,95	SN	ai	D (PULG)	D (PULG)*	SN*	D (CM)
SN1	2,22	0,44	5,0	5,0	2,22	12,8
SN2	2,87	0,14	4,9	6,0	0,798	15,2
SN3	3,85	0,11	8,0	8,0		20,2

Para mi= 0,85	SN	ai	D (PULG)	D (PULG)*	SN*	D (CM)
SN1	2,22	0,44	5,0	5,0	2,22	12,8
SN2	2,87	0,14	5,5	6,0	0,714	15,2
SN3	3,85	0,11	9,8	9,8		24,9

Para mi= 0,80	SN	ai	D (PULG)	D (PULG)*	SN*	D (CM)
SN1	2,22	0,44	5,0	5,0	2,22	12,8
SN2	2,87	0,14	5,8	6,0	0,672	15,2
SN3	3,85	0,11	10,9	10,9		27,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Espesores de las Capas para los diferentes coeficientes de drenaje analizados

ESPESORES DE CAPA (cm)	mi= 1	mi= 0,95	mi= 0,85	mi= 0,80
Carpeta asfáltica	12,8	12,8	12,8	12,8
Base Granular	15,2	15,2	15,2	15,2
Sub-base Granular	18,2	20,2	24,9	27,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Variación de los espesores de la subbase en cm según el coeficiente de drenaje

Coeficiente de drenaje	Espesor Subbase (cm)	Diferencia acumulada
mi= 1	18,2	
mi= 0,95	20,2	2,0
mi= 0,85	24,9	6,6
mi= 0,80	27,7	9,4

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de evaluar los aspectos económicos que implicarían estos resultados, se tomaron precios unitarios de la base de datos de INVIAS para el Departamento de Bolívar [7]. Teniendo en cuenta las características de la vía (tabla 10) se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 17. Cantidades de granulares de la vía a partir de los espesores obtenidos variando el coeficiente de drenaje (mi)

CAPAS DE PAVIMENTO	VALOR UNITARIO	UNIDAD	mi= 1	mi= 0,95	mi= 0,85	mi= 0,80
Base Granular-clase c	\$ 108.309	m3	2.834,6	2.834,6	2.834,6	2.834,6
Sub-base Granular-c	\$ 87.015	m3	3.393,0	3.761,4	4.628,4	5.143,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Costo total de los granulares de la vía a partir de los espesores obtenidos variando el coeficiente de drenaje (mi)

CAPAS DE PAVIMENTO	mi= 1	mi= 0,95	mi= 0,85	mi= 0,80
Base Granular-clase c	\$ 307.016.037	\$ 307.016.037	\$ 307.016.037	\$ 307.016.037
Sub-base Granular- c	\$ 295.238.816	\$ 327.300.060	\$ 402.738.280	\$ 447.529.724
Total, Granulares	\$ 602.254.853	\$ 634.316.097	\$ 709.754.318	\$ 754.545.761

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Variación de costos según coeficiente de drenaje (mi)

Coeficiente de drenaje	Costo Total Subbase	Diferencia acumulada
mi= 1	\$ 295.238.816	
mi= 0,95	\$ 327.300.060	\$ 32.061.244
mi= 0,85	\$ 402.738.280	\$ 107.499.465
mi= 0,80	\$ 447.529.724	\$ 152.290.908

Fuente: Elaboración propia

3. CONCLUSIONES

- Durante el cálculo de espesores de las capas se obtuvo un valor de la base granular inferior al mínimo permitido (6 Pulg) para todos los datos de coeficiente de drenaje; por lo tanto, este espesor no tuvo variaciones en el análisis.
- La capa de subbase granular presentó variaciones entre los 2 y 9 cm (ver tabla 17) para los diferentes valores de coeficiente de drenaje, lo que muestra que el diseño por el método AASTHO tiene una sensibilidad significativa cuando se varía este parámetro para el caso en estudio.
- El grado de sensibilidad del diseño por el método AASTHO, ante la variación del coeficiente de drenaje, está relacionado directamente con las características del proyecto (tránsito y confiabilidad), teniendo en cuenta que vías de tránsito bajo, podrían arrojar valores de base y subbase inferiores a los mínimos permitidos y estos no variarían con el coeficiente, mientras que las vías con tránsito NT2 y NT3 que arrojarían espesores superiores a los mínimos, se verían afectados por la variación del coeficiente de drenaje.
- En los 2 Km de vía en estudio, se presentaron variaciones de costos de la capa subbase entre 32 y 152 millones de pesos, aumentando hasta en un 52% el costo, para los diferentes valores utilizados de coeficiente de drenaje.
- La elección del coeficiente de drenaje para el diseño de pavimentos flexibles por el método AASTHO, está basada en las características de drenaje de la vía y en los análisis pluviométricos de la zona. La ciudad de Cartagena, a pesar de estar en una zona de temperatura cálida y presentar durante los meses de diciembre - abril un comportamiento árido o seco, en los otros meses, principalmente de agosto a noviembre se producen lluvias de alta intensidad que hacen cambiar las condiciones de la estructura de la estructura de pavimento.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rondón,H., Reyes,F. (2015).Pavimentos materiales, construcción y diseño.(1a. ed.) Ecoe Ediciones. Página 556, 576-581 Tomado de <http://www.ebooks7-24.com>
- [2] SANCHEZ.F “Diseño de pavimentos asfálticos para calles y carreteras- Módulo 12,” presentado en *Nombre de Escuela colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá,* pp. 10-15. https://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/módulos/MÓDULO%2012.pdf
- [3] MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. “Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito”. Página 16, 78-80
- [4] VIDAL.J, OSORIO.R. Apellido & C.C. Apellido, “Módulo resiliente de suelos finogranulares,” Revista Universidad EAFIT, vol. 125, no. 125, pp. 69, Primer trimestre, año 2012. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/.../957/862/>
- [5] CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS- CIOH. Graficas multianuales principales parámetros meteorológicos sobre la Ciudad de Cartagena. Disponible en: <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ResumenCartagena4.php>
- [6] OBSERVATORIO AMBIENTAL DE CARTAGENA DE INDIAS. Precipitación Ciudad de Cartagena Colombia. Disponible en:<http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-urbano/precipitacion/>
- [7] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS - INVIAS. Análisis de precios unitarios para el departamento de Bolívar. Disponible en:<http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-urbano/precipitacion/>